

3. Оценка качества проведенного ремонта должна определяться степенью восстановления технического состояния до исходного уровня.

#### Список использованных источников:

1. Плахтин В. Д. Надежность, ремонт и монтаж металлургических машин: учебник для вузов / В.Д. Плахтин. - М.: Металлургия, 1983. - 415 с.
2. Ловчиновский Э. В. Реорганизация системы технического обслуживания и ремонта предприятий / Э.В. Ловчиновский. - М.: «Реинжиниринг бизнеса», 2005. - 385 с.
3. Кравченко В.М. Техническое обслуживание и диагностика промышленного оборудования / В.М. Кравченко. - Донецк: ООО «Юго-Восток, Лтд», 2004. - 504 с.
4. Ченцов Н.А. Организация, управление и автоматизация ремонтной службы / Н.А. Ченцов. - Донецк: Норд-Пресс-УНИТЕХ, 2007. - 258 с.

Рецензент: Логутова Т.Г.

д-р экон. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 28.03.2011

УДК 621.068

Кравченко В.М.<sup>1</sup>, Сидоров В.А.<sup>2</sup>, Ланская С.П.<sup>3</sup>

#### ЭКОНОМИКА УПРЕЖДАЮЩЕГО РЕМОНТА

*На основе анализа вариантов ремонта оборудования показано, что эффективное увеличение безотказности и управление надежностью механического оборудования возможно при использовании стратегии упреждающих ремонтов.*

*Обоснованность и запланированность упреждающего ремонта позволяет провести его в наиболее короткие сроки с использованием минимально необходимого количества работников, что повлечет за собой минимизацию затрат труда и затрат упущенных возможностей.*

**Ключевые слова:** ремонт упреждающий, планирование, экономическая эффективность

**Кравченко В.М., Сидоров В.А., Панська С.П. Економіка попереджувального ремонту.**

*На основі аналізу варіантів ремонту устаткування показано, що ефективне збільшення безвідмовності і управління надійністю механічного устаткування можливо при використанні стратегії попереджувальних ремонтів.*

*Обґрунтованість і запланованість попереджувального ремонту дозволяє провести його в найкоротші терміни з використанням мінімальної необхідної кількості працівників, що спричинить мінімізацію витрат праці і витрат упущених можливостей.*

**Ключові слова:** ремонт попереджує, планування, економічна ефективність.

**V.M. Kravchenko, V.A. Sidorov., S.P. Lanskay. Economy of proactive repair.** *It is shown on the basis of analysis of variants of repair of equipment, that effective increase of faultlessness and management reliability of mechanical equipment possibly at the use of strategy of proactive repairs.*

*Validity of proactive repair allows to conduct him in the most short spaces with the use of the necessary least of workers, that will entail minimization of expenses of labour and expenses of the lost opportunities.*

**Keywords:** repair is proactive, planning, economic efficiency.

<sup>1</sup> д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

<sup>2</sup> канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк

<sup>3</sup> канд. экон. наук, доцент, ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк

**Постановка проблемы.** Проведению ремонта механического оборудования предшествует (явно или неявно) решение следующих вопросов:

1. Целесообразность проведения ремонта - возможное альтернативное решение - покупка и установка нового оборудования.
2. Время проведения ремонта - когда следует проводить ремонт - после отказа, до отказа, планово-предупредительно.
3. Необходимость проведения ремонта - ремонт механизма должен быть обоснован, в противном случае ремонт ускоряет износ исправного механизма.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Среди работ посвященных проблематике ремонта следует отметить работы Плахтина В.Д., Ловчиновского Э.В., Седуша В.Я. и многих других [1 - 5]. Несмотря на большой опыт, накопленный ремонтными службами, при проведении ремонтов, экономические вопросы проведения ремонтов практически не рассматривались.

**Цель статьи** - в работе, на основе обобщения известных положений о ремонтах механического оборудования, разработаны вопросы экономики упреждающего ремонта механического оборудования промышленных предприятий.

#### **Изложение основного материала.**

1. Целесообразность проведения ремонта.

Традиционный ответ на данный вопрос связан с экономическими показателями. Затраты на проведение ремонта обычно меньше, чем покупка нового оборудования. Одновременно, весьма актуальным является и технический аспект, связанный с выполнением функций управления. Структурная схема функционирования механического оборудования представлена на рисунке 1.

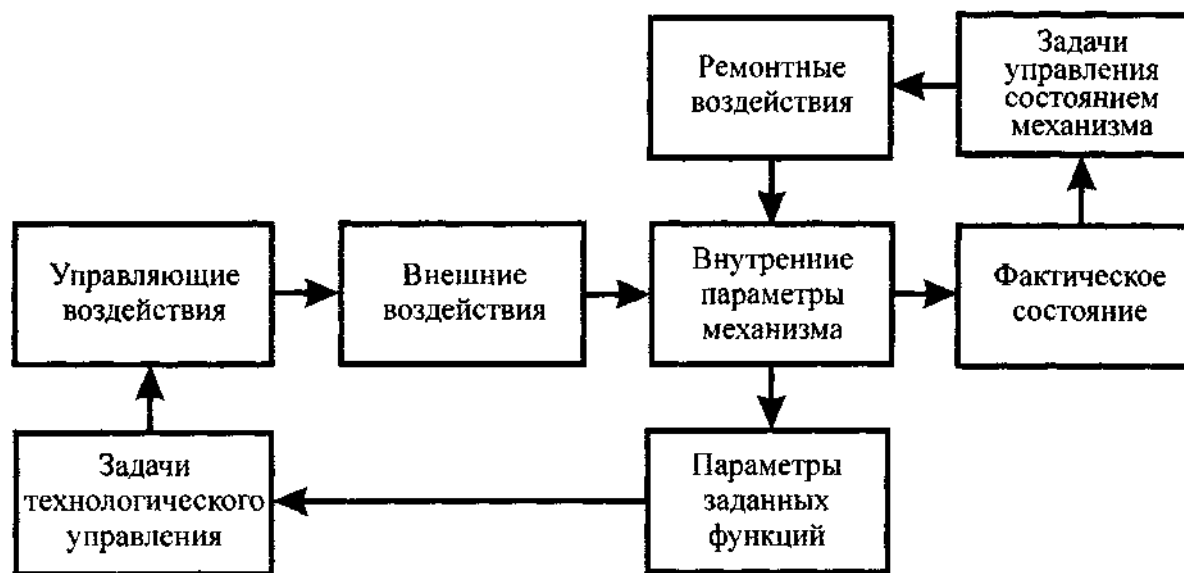


Рис. 1 - Структурная схема функционирования механического оборудования

Работа механизма осуществляется под влиянием управляющих воздействий (задается частота вращения, давление, расход, производительность), определяющих режим работы механизма, совместно с частотой включения. Управляющие воздействия устанавливают уровень внешних воздействий на детали и узлы - силовых, температурных и могут влиять на воздействие окружающей среды. Взаимодействие внешних воздействий и внутренних параметров механизма обуславливает выполнение механизмом заданных функций. Отклонение параметров выполняемых функций от заданных значений используется в качестве обратной связи в технологической цепи управления.

Фактическое состояние механизма проявляется в виде значений параметров физических полей - температурных, акустических, вибрационных, электромагнитных. Возникающие отклонения от заданных значений должны устраняться путем проведения периодических ремонтных воздействий. Это формирует первый узел противоречий - непрерывность технологического

процесса и периодичность проведения ремонтных воздействий.

Задачи технологического управления известны и достаточно хорошо формализованы - определены законы изменения технологических параметров, требования к выполняемым функциям оборудования, методы и способы контроля за протекающими процессами. Задачи управления механическим оборудованием не определены. Обычно к механизму предъявляются требования по обеспечению заданного уровня надежности - параметров безотказности, режестивности. Несовпадение между выполняемыми функциями и фактическим состоянием оборудования проявляется в виде отказов, поломок. Это является вторым узлом противоречий - длительная работа механического оборудования возможна при малых или умеренных нагрузках, а любой технологический процесс предполагает необходимость максимально эффективного использования оборудования.

Проведенный анализ позволяет сформулировать требования, которые определяют необходимость установки нового оборудования - механическое оборудование не обеспечивает заданных параметров (в частности эвергоэффективности) и непрерывности протекания технологического процесса. Под нарушением непрерывности протекания технологического процесса понимается следующее - проводимые ремонты не обеспечивают заданного уровня безотказности, и отказы механизма являются причиной остановки технологического процесса.

Во всех иных случаях следует проводить ремонт и восстанавливать работоспособность эксплуатируемого механизма для исключения частого повторения этапа освоения. Этап освоения нового оборудования всегда связан с наибольшим числом ошибок персонала по эксплуатации, техническому обслуживанию. При проведении первых ремонтов происходит накопление опыта ремонтов, что проявляется в виде ошибок сборки, монтажа. Если данный этап пройден, механизм может эксплуатироваться длительно. Срок службы механизма может составлять 5, 10, 20 и более лет. Много зависит от уровня проектирования, качества изготовления и установки оборудования. Поэтому, экспериментировать с частой сменой производителя не рекомендуется. Некоторые «долгожители» находятся в эксплуатации более 100 лет и обеспечивают заданные значения технологического процесса. Это осуществимо только при высоком уровне квалификации эксплуатационного и ремонтного персонала. При этом, рационально выбранные сроки проведения ремонта определяют возможность проведения эффективного восстановления работоспособности узлов механизма.

## 2. Время проведения ремонта.

Проведение ремонтов механического оборудования в процессе эксплуатации основано на базовой износной модели - типовой кривой износа (рисунок 2).

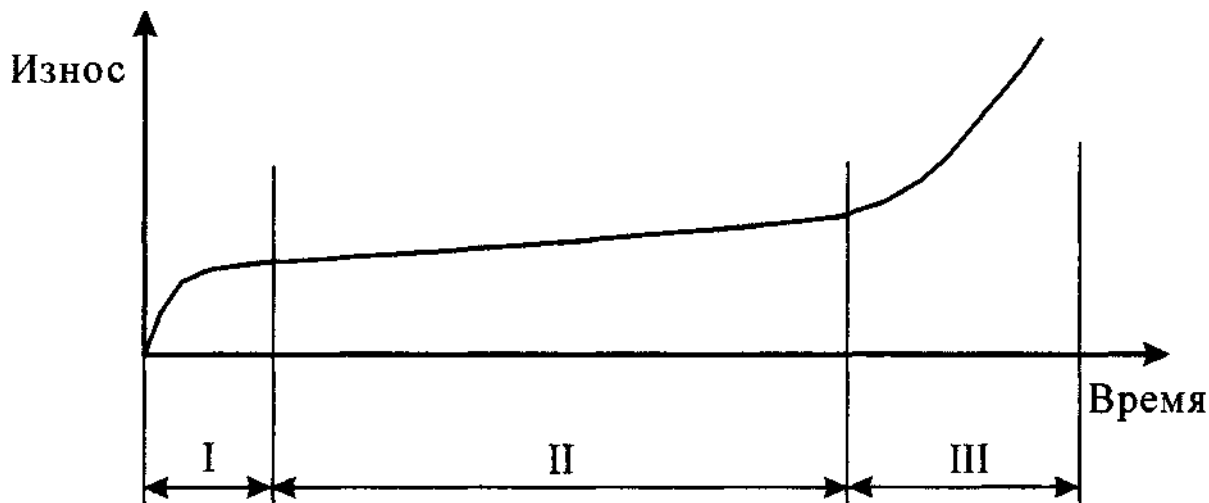


Рис.2 - Типовая кривая износа

Предполагается, что процесс изнашивания деталей машин при эксплуатации имеет три этапа (рисунок 2). **Первый этап** - приработка, при которой темп изнашивания повышен в результате истирания начальных неровностей или вследствие перекоса поверхностей сопряженных деталей. **Второй этап** - этап длительной эксплуатации, при котором происходит естественное изменение форм и размеров деталей в процессе работы машины - скорость износа деталей на этом этапе минимальна. **Третий этап** - катастрофический износ, характеризующийся рез-

ким нарастанием интенсивности износа из-за недопустимых изменений в сопряженных деталях. В этот период происходит отказ узла. Исходя из данных предпосылок, применяя метод суперпозиции по отношению к механизму, разрабатываются стратегии технического обслуживания и ремонта.

**Ремонт оборудования после отказа** проводится по отношению к небольшим машинам, имеющим резервирование. Данная стратегия оправдана в том случае, если отказ механизма не приводит к прерыванию технологического процесса, Возникающие отказы непредсказуемы и приводят к существенным затратам по их ликвидации. Непредсказуемость поведения деталей и узлов механизма во время поломки не позволяют широко использовать данный вид ремонта.

Вынужденное время проведения ремонта - окончание третьего периода на типовой кривой износа (рисунок 2).

**Ремонты по состоянию** - состояние машин и механизмов контролируется периодически в зависимости от результатов диагноза и прогноза технического состояния. Ремонт проводится в оптимальные сроки, в необходимом объеме, обычно это начало или середина третьего периода ускоренного износа деталей механизма. Основой для этого служит знание фактического состояния. Это позволяет минимизировать объем ремонтов и обеспечить безаварийную работу. Эффективность применения стратегии определяется снижением объемов проведения ремонтов, повышением безотказности работы оборудования за счет проведения своевременного и качественного технического обслуживания.

На основании информации о техническом состоянии решаются задачи: определения рациональных сроков и объемов ремонта; выявление механизма с наихудшими параметрами, требующего немедленной замены; оценка качества проведенного ремонта; оценка состояния и качества монтажа нового оборудования. Эффективность решения этих задач обеспечивается за счет ремонта наиболее изношенного оборудования, ликвидации ошибок монтажа и контроля состояния оборудования, вступающего в эксплуатацию после ремонта.

Планово-предупредительные ремонты должны обеспечивать безотказную работу оборудования путем принудительной замены узлов и деталей в сроки, устанавливаемые на основе статистического анализа отказов. Установленное среднее значение норматива заранее предполагает аварийные отказы одних деталей и замену других, не отработавших свой ресурс. Следовательно, данная стратегия не исключает возможность возникновения аварийных отказов.

Фактически оказывается, что не менее 50% регламентных ремонтных воздействий выполняются без особой необходимости. В некоторых случаях, безотказность работы оборудования после технического обслуживания или ремонта, снижается, иногда временно, до момента окончания процесса приработки, а иногда постоянно. Снижение показателей надежности обусловлено появлением, отсутствовавших до ремонта, дефектов монтажа. Проведение необоснованных ремонтов может стать причиной отказов из-за возможных ошибок сборки. Разборку исправного механизма необходимо рассматривать как основную причину снижения ресурса механического оборудования.

Наиболее благоприятное время проведения предупредительного ремонта - начало или середина третьего периода на типовой кривой износа (рисунок 2).

Представленные стратегии технического обслуживания и ремонта следует разделить на реактивные и активные [6, 7].

Реактивные стратегии в той или иной форме отвечают на изменение технического состояния - это ремонт после отказа, либо ремонт по состоянию. Всегда сохраняется возможность одновременного отказа нескольких механизмов, тогда необходимость в ремонтных работах превысит возможности ремонтной службы, что приведет к остановке технологического процесса.

Активные стратегии влияют на состояние оборудования до возникновения необходимости ремонта путем предупредительной замены узлов и деталей либо устранением отклонений и неисправностей в работе механизмов. Принудительная замена деталей и узлов (например, замена уплотнений при ремонтах, замена двух подшипников вала) не всегда экономически оправдана, однако повышает безотказность работы оборудования. Проблематичным в данном случае является выбор рациональных сроков и объемов заменяемых деталей.

Существующая стратегия планово-предупредительных ремонтов ориентирует ремонтные службы на преобладание операций по замене изношенных узлов. Практически для воздействия на работоспособность механизма могут быть использованы следующие виды ремонтных воздействий: затяжка резьбовых соединений; смазывание узлов и деталей; регулировка и настрой-

ка механизма; замена быстроизнашиваемых деталей; восстановление или замена корпусных деталей. Правильный выбор вида ремонтного воздействия и своевременность проведения обеспечивают не только надежность оборудования, но и влияют на экономические показатели работы ремонтной службы и предприятия в целом.

Исходя из основных положений теории катастроф, процесс отказа следует представить в следующей последовательности - малые отклонения, происходящие в механизме, приводят к увеличению скорости износа отдельных элементов. При достижении определенных значений износа, не всегда достигающих предельного значения, провоцирующее, инициирующее событие (часто не связанное с процессами износа) приводит к отказу - разрушению детали (рисунок 3). Существующие методы повышения безотказности и проводимые ремонт в основном ориентируются на уменьшение скорости износа отдельных элементов. Фактически происходит ликвидация последствий, а не причины явления.

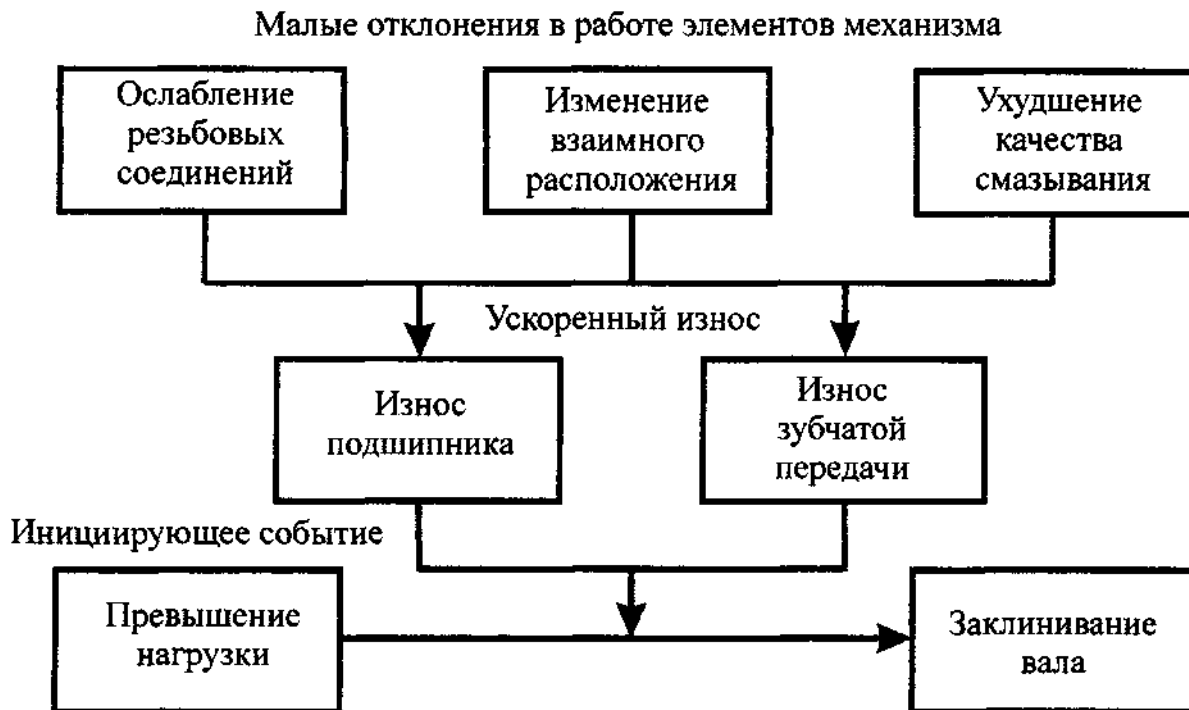


Рис.3 - Процесс развития отказа

Предложенный процесс развития отказа принят исходным для разработки теоретических основ упреждающего ремонта, базирующегося на информации о техническом состоянии механизма. Эффективное повышение безотказности механического оборудования возможно при обнаружении и ликвидации малых отклонений в узлах и деталях. Необходимым становится учет взаимного влияния элементов, т.е. развитие синергетических представлений при моделировании поведения элементов и развития повреждений механизма.

Упреждающий ремонт проводится до возникновения необходимости замены узлов и деталей, путем устранения отклонений от работоспособного состояния механизма. Для реализации данной стратегии следует определить содержание термина техническое состояние на основе классификации факторов влияющих на работоспособное состояние механизма. Преобладающим в деятельности ремонтных служб, в данном случае становится диагностирование состояния и предупредительное техническое обслуживание. Одновременно решается вопрос обоснования необходимости проведения ремонтов.

### 3. Необходимость проведения ремонта.

В настоящее время ремонт механизма проводится по следующим причинам: нарушение аксиом работоспособного состояния механизма; износ элементов механизма свыше нормативных значений или появление признаков повреждений деталей; нарушение функционирования механизма или несоответствие заданным параметрам технологического процесса.

К аксиомам работоспособного состояния механизма следует отнести: выполнение всех

заданных функций технологического процесса в границах заданных параметров; низкий уровень вибрации и шума; отсутствие или минимальный уровень ударных воздействий; не превышение температурой элементов заданных значений; отсутствие трещин и подтеканий масла. Предельные значения износа типовых узлов указываются в справочной литературе без привязки к конкретному механизму и характеризуют момент замены детали. В нормативно-технической документации к оборудованию не приводятся признаки и уровни диагностических параметров для технических состояний. Визуально наблюдаемое нарушение функционирования механизма – результат развившегося повреждения.

При учете затрат на проведение ремонта следует выделять три основных варианта ремонтов:

- полная замена механического оборудования;
- упреждающий ремонт оборудования;
- ремонт оборудования после отказа (восстановительный).

Каждый из этих видов ремонта предусматривает определенный комплекс затрат, необходимых для его реализации.

При этом все затраты, которые необходимы для проведения какого-либо ремонта, можно разделить на три основные группы:

1) **Технические затраты** ( $Z_{\text{техн.}}$ ) – общая стоимость оборудования, комплектующих частей и т.п., подлежащих ремонту (замене). Данный вид затрат прямым образом зависит от причины, сложности ремонта, используемых на предприятии технологий, условий проведения ремонтных работ:

$$Z_{\text{техн.}} = \text{Ст-ть}_{\text{нов.}} + \text{Ст-ть}_{\text{зап.}} + \text{Ст-ть}_{\text{комплект}}, \quad (1)$$

где:  $\text{Ст-ть}_{\text{нов.}}$  – стоимость нового оборудования, грн.;

$\text{Ст-ть}_{\text{зап.}}$  – стоимость запасных частей, подлежащих замене, грн.;

$\text{Ст-ть}_{\text{комплект}}$  – стоимость комплектующих частей, подлежащих ремонту (замене), грн.

2) **Трудовые затраты** ( $Z_{\text{труд.}}$ ) – общие затраты на оплату труда работников, действовавших при проведении ремонта. Сумма затрат зависит от численности работников, необходимых для проведения ремонтных работ, уровня заработной платы ремонтного персонала, а также продолжительности ремонта:

$$Z_{\text{труд.}} = ЗП * Ч * t, \quad (2)$$

где:  $ЗП$  – ставка заработной платы 1 рабочего, занятого на ремонтных работах, грн.;

$Ч$  – численность задействованных работников, чел.;

$t$  – продолжительность ремонта, ч (дн., смен).

3) **Затраты упущенных возможностей** ( $Z_{\text{упущ.возм.}}$ ) – потери дохода, которые возникли вследствие остановки оборудования для проведения ремонтных работ. Сумма данного вида затрат напрямую зависит от выработки, стоимости единицы производимой продукции и продолжительности периода ремонта. Кроме того, затраты упущенных возможностей могут быть увеличены с учетом периода обучения (переобучения) работников, занятых на оборудовании, которое было подвержено ремонту или заменено:

$$Z_{\text{упущ.возм.}} = B * Ц_{\text{ед.}} * t, \quad (3)$$

где:  $B$  – выработка оборудования, шт.

$Ц_{\text{ед.}}$  – цена единицы продукции, грн./шт.

Таким образом, показатель общих затрат на ремонт оборудования может быть рассчитан по формуле:

$$Z_{\text{общ.}} = Z_{\text{техн.}} + Z_{\text{труд.}} + Z_{\text{упущ.возм.}} \quad (4)$$

Как пример рассмотрим ситуацию на условном предприятии, где предполагается решение вопроса о необходимости проведения ремонта оборудования.

Рассчитаем варианты затрат для различных видов ремонта данного оборудования с учетом того, что дневная выработка данного оборудования составляет 10 единиц, стоимость одной единицы продукции – 80 грн./шт., дневная ставка рабочего, занятого на ремонтных работах, равна 300 грн.

Результаты анализа вариантов ремонта оборудования свидетельствуют, что наиболее оптимальным для предприятия является проведение упреждающего ремонта с целью устранения отклонений от работоспособного состояния оборудования (табл.).

Таблица

## Варианты затрат для различных видов ремонта

Вид ремонта	Полная замена	Упреждающий ремонт	Ремонт после отказа
Стоимость нового оборудования, грн.	150000	-	-
Стоимость комплектующих частей, подлежащих ремонту (замене), грн.	-	1500	1500
Стоимость запасных частей, подлежащих замене, грн.		500	500
Численность задействованных работников, чел.	3	1	5
Дневная ставка заработной платы рабочего, занятого на ремонтных работах, грн.	300	300	300
Продолжительность ремонта, дн.	2	1	3
Выработка оборудования дневная, шт.	10	10	10
Цена единицы продукции, грн./шт.	80	80	80
Технические затраты, грн.	150000	1500+500=2000	1500+500=2000
Затраты на оплату труда, грн.	3*300*2=1800	1*300*1=300	5*300*3=4500
Затраты упущенных возможностей, грн.	10*80*2=1600	10*80*1=800	10*80*3=2400
<b>ОБЩИЕ ЗАТРАТЫ НА РЕМОНТ, грн.</b>	<b>150000 + 1800 + 1600 = 153400</b>	<b>2000 + 300 + 800 = 3100</b>	<b>2000 + 4500 + 2400 = 8900</b>

## Выводы

1. Эффективное увеличение безотказности и управление надежности механического оборудования возможно при использовании стратегии упреждающих ремонтов.
2. Обоснованность и запланированность упреждающего ремонта позволяет провести его в наиболее короткие сроки с использованием минимально необходимого количества работников, что повлечет за собой минимизацию затрат труда и затрат упущенных возможностей.

## Список использованных источников:

- 1-Плахтин В. Д. Теротехнология в металлургии / В.Д. Плахтин. - М.: Металлургия, 1979.-84 с.
2. Плахтин В. Д. Надежность, ремонт и монтаж металлургических машин: учебник для вузов / В.Д. Плахтин. -М.: Металлургия, 1983.-415 с.
3. Ловчиновский Э. В. Эксплуатационные свойства металлургических машин / Э.В. Ловчиновский, В.С. Вагин. - М.: «Металлургия», 1986. - 160 с.
4. Ловчиновский Э. В. Реорганизация системы технического обслуживания и ремонта предприятий / Э.В. Ловчиновский. - М.: «Реинжиниринг бизнеса», 2005. - 385 с.
5. Седуш В. Я. Надежность, ремонт и монтаж металлургических машин. - 3-е изд., перераб. и доп./В-Я Седуш.-К.:НМКВО, 1992.-368с.
6. Ширман А. Р. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования / А. Р. Ширман, А. Д. Соловьев. - Москва, 1996. - 276 с.
7. SKF: общий каталог. Каталог 4000/1R. Reg. 47-6000-2000. - 974 с.

Рецензент: Логутова Т.Г.

д-р экон. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 31.03.2011!